第 28 卷 第 4 期 昆 虫 学 报 Vol. 28, No. 4
1985 年 11 月 ACTA ENTOMOLOGICA SINICA Nov., 1985

华北棉区第二代棉铃虫的经济阈值

盛 承 发
(中国科学院动物研究所)

摘要 1980—1983 年在河北省饶阳县及安徽省濉溪县的不同的土壤肥力类型、不同的棉花品种和不同的栽培管理条件下进行了模拟为害和自然为害的试验，旨在确定第二代棉铃虫 *Heliothis armigera* (Hübner) 数量与棉花 *Gossypium hirsutum* L. 产量和质量的关系。试验结果表明，棉花对于第二代棉铃虫为害的补偿力很强，这种补偿力随着土壤肥力的提高而增强。棉花品种、年份以及栽培管理方法对补偿力的影响属于次要。通过组建的一个静态模型，收进了二代棉铃虫防治的直接收益与代价以及间接收益与代价，算得高、低肥力地的第二代经济阈值，百株累计卵量分别为 332 粒和 34 粒。产量水平在 80—90 斤的中等偏低肥力地，其阈值可定为 60 粒。

关键词 棉铃虫 棉花 产量损失 经济阈值

棉铃虫 *Heliothis armigera* (Hübner) 是我国棉区重要害虫，它的第二代是华北棉区当前重点防治世代；经济阈值（防治指标）定为百株 15 粒卵或 5 头幼虫（中国农作物病虫害编辑委员会，1979），近年来，个别地区提出百株累计 40 粒卵的经济阈值（孟文等，1981），但尚缺少精确的经济学分析。

国外对于棉铃虫经济阈值进行了广泛的研究（Adkisson 等，1964a; 1964b; Tanskii 等 1975; Morton, 1979; Phillips 等，1980; Simirnova, 1980; Wilson, 1981; Gutierrez 等，1981; Sengonca, 1982; USDA ARS, 1983; Kfir 等，1983; Ives 等，1984)，然而这些研究均未指出土壤肥力的影响。同时，在确定这些经济阈值，没有定量分析防治措施的间接收益和间接代价。另方面，由人工模拟为害得到的大量数据（Eaton, 1931; Kincade 等，1970; Morton, 1979; Wilson 等，1982）尚未适当地用于经济阈值的计算。

为了确定我国华北棉区二、三代棉铃虫经济阈值，1980—1983 年我们在河北省饶阳县和安徽省濉溪县棉田进行了大量的模拟为害和自然为害试验，摸清了影响产量补偿力的主要因素，并收集了其他有关的基本数据，进而组建了一个实用的模型，初步估计出二、三代棉铃虫的经济阈值。这里报道的是第二代的部分结果。

一、设计和方法

1. 组建模型

首先根据棉田是个整体的概念，考虑参数，组建了华北棉区第二代棉铃虫经济阈值模型（图 1）。

本文于 1984 年 5 月收到。
本项工作是在马世骏教授及丁岩钦副教授指导下进行的。试验调查期间得孟文、李树清、乔运周、赵承显、杨月玲、李爱君及张秀菊等同志的大力协助，在此一并致谢。

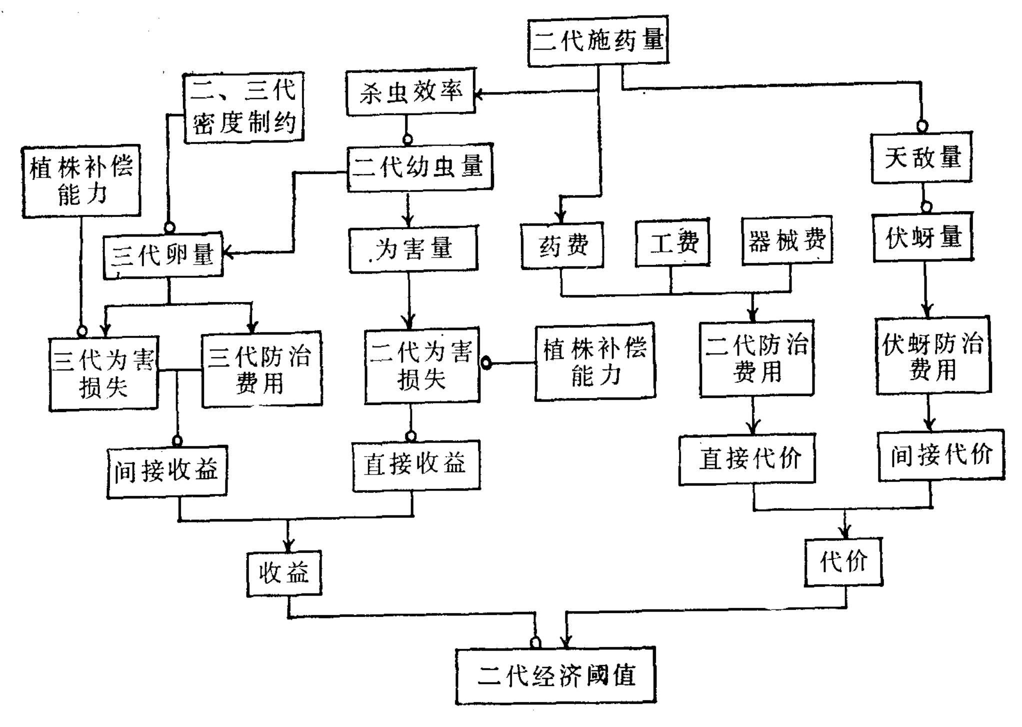


图 1 华北棉区第二代棉铃虫经济阈值的因素示意图

Fig. 1 A schematitic diagram of factors affectimg economic threshold of the second generation of cotton bollworm in North China

→正作用 positive effect ——o负作用 negative effect

2. 收集数据

根据以上模型所列的因素，设计试验，收集数据。

1）直接收益 其中主要是二代卵量和为害量与棉花产值关系的数据。我们采用摘蕾模拟为害和棉铃虫为害两种试验方法来估计这些数据。

a）摘蕾模拟为害试验 在6月下旬至7月上旬，手摘棉蕾，按单株或小区进行。按单株进行的，1980年重复10次(株)，其余均重复50次(株)。按小区进行的，最小的小区面积2平方米，重复10次，最大的小区200平方米，重复2次。排列方式多为对比法，少数为随机区组法。摘蕾后每7—10天调查一次各处理的蕾、花、小铃、大铃及脱落数，取样株数一般为50株。1981—1983年还对两个摘蕾处理及对照的各10株棉花，每两天调查一次棉株节位发育状况，用以考察补偿的时间及部位。收获时分期测定铃重、衣分、绒长、皮棉等级及售价。土壤肥力，按近三年皮棉平均亩产分为三个类型：高肥地，皮棉亩产130斤以上；中肥地80—120斤；低肥地，55—65斤。供试品种：陆地棉 *Gossypium hirsutum* L.、衡棉1号、鲁棉1号、乌干达3号及中棉8号选系。所有地块均按常规技术进行管理。

b）棉铃虫为害试验 分三种试验：①接幼虫；②在自然落卵株上加卵；③自然产卵。接幼虫为害试验按株进行，每株咬蛀8蕾，不为害顶尖，重复50次(株)。加卵为害试验，

百株自然落卵累计为 636 粒，加接 1,200 粒，共 1,836 粒。试验按株进行，重复 250 次(株)。棉株之间用网纱隔开并适时移去。自然为害试验按小区进行，小区面积 12—200 平方米，重复 2—8 次。其他工作同模拟为害试验。

2）直接代价　通过调查和田间试验，了解二代不同程度的防治的药费、工费及器械费。

3）间接收益　建立二、三代棉铃虫的密度关系，确定第二代施药对于第三代密度的影响，并收集第三代防治费用，估计第二代防治的后效。

4）间接代价　每 5 天调查一次第二代不同施药量对于主要天敌和伏蚜的影响，估计伏蚜防治费用的改变。

3. 计算阈值

收齐上述各种收益和代价后，按照"挽回损失等于防治代价"的原理(盛承发，1984 a)计算经济阈值。

二、结果和分析

以下计算单位，如无特别说明，则卵量为百株累计粒数，产量为每亩皮棉斤数，产值和费用为每亩元数。

1. 直接收益

指二代防治挽回的产值损失。首先是二代卵量和为害量与产值关系。

1）摘蕾模拟为害试验

1980—1982 年二代期不同摘蕾数试验结果见表 1。表 1 中的 a、b、c 为回归式 $Y = a + bX + cX^2$ 的参数，Y 为每亩皮棉增产斤数，X 为二代期每株摘蕾数，X_M 为 X 的取值上限，亦即试验时最大摘蕾数。

表 1 中的第 1、5、15 及 18 式，虽然与同类肥力地的其他式子有相同趋势，但它们回归不显著，故不用于讨论 Y 与 X 的关系。中肥地 9 式 $b < 0$，但 $c > 0$，因此不能认为在 X 的取值范围内会出现减产。高、中肥力地的其余各式的 b 值均大于零，而 c 值均不大于零，表明增产曲线的开口向下，即超过某一摘蕾数后，增产数下降，但在 X 取值范围内未出现减产。低肥地 17 号试验在摘蕾后，每亩追施尿素 40 斤，结果摘蕾处理出现较大幅度增产，而与其相对比的 16 号试验，摘蕾后不追肥，结果出现线性减产。

由表 1 得知，我们无法按品种或年份将 Y 值的正负截然分开。可见，对于二代期的蕾损失，决定产量补偿力的首要因素是肥力。这已由 1983 年的试验结果(表 2)再次证实。

2）二代棉铃虫为害试验

人工接幼虫每株为害 8 蕾，结果比对照增产 6.95 斤，与摘 8 蕾处理的产量仅相差 0.69%。高肥地加卵为害和自然为害试验结果见表 3。

表 3 中，二代卵量为 147、205 和 208 粒的试验品种为鲁棉 1 号，其余为衡棉 1 号。二代卵量为 1,836 粒的试验，系加卵为害试验，其余为自然产卵为害试验。产值计算中，霜前花每斤按 2.5 元计、霜后花按 1.2 元计。

由表 3，得到高肥地产值下降数 Y 与二代卵量 E_2 的关系是

$$Y = -32.7412 + 0.103978E - 10^{-5} \cdot 2.23726E_2^2 \quad (1)$$

表 1　增产数 Y 对于摘蕾数 X 的回归式参数

Table 1　Parameters in regressions of incremental lint yield (Y) to number of squares removed (X)

肥力类型 Level of soil fertility	年份 Season	品种 Variety	编号 No.	X_m	a	b	c	显著性 Significance
高肥 High	1980	乌 3	1	8	10.21	6.971	−0.9734	
	1981	衡 1	2	20	0.9575	3.744	−0.1504	*
	1982	衡 1	3	24	0.8845	10.03	−0.3625	***
			4	24	4.985	15.58	−0.5814	**
		衡 1	5	16	5.368	3.341	−0.1454	
		鲁 1	6	16	5.030	9.349	−0.2936	*
		鲁 1	7	12	2.015	4.903	−0.2630	*
			8	16	2.235	0.6040		**
中肥 Medium	1980	乌 3	9	8	1.228	−3.825	1.145	**
	1981	衡 1	10	12	−6.570	7.136	−0.3875	*
	1982	衡 1	11	8	0.3566	7.904	−0.9764	**
			12	8	−3.570	7.607	−0.4275	*
		鲁 1	13	8	−2.268	5.856	−0.8833	*
			14	8	0.2911	7.666	−0.7279	**
低肥 Low	1981	乌 3	15	8	−1.308	−1.707	0.2245	
	1982	衡 1	16	8	−0.2820	−0.9650		**
		衡 1	17	8	−0.6877	9.320	−0.8370	**
		鲁 1	18	8	−1.046	2.526	−0.2120	

*、**、*** 分别为 10%、5% 和 1% 显著水准。
*、**、*** is 10%、5% and 1% significance level respectively.

剩余标准差 $S = 8.33243$，回归在 1 % 水准上显著。

高肥地二代卵量超过 340 粒时，开始出现减产，这与模拟为害试验结果不一致。1981 年试验表明，只让幼虫咬蕾而不为害植株顶尖，那么每株咬 8 蕾与摘 8 蕾的产量仅相差 0.69%。1981 年和 1982 年 4 次试验一致表明，二代期保留顶尖但摘除全部蕾均未减产，而同地块自然为害试验中，尽管还剩下部分蕾未被害，但顶尖被害程度加重，结果减产。可见一定时期的顶尖被害是造成减产的主要原因。因此，二代期人工摘蕾模拟为害，仅当模拟 300 粒卵以下的为害才是可以接受的。

对于低肥地，由于在二代为害期，植株小，自然落卵量低，初孵幼虫不致集中为害顶尖，而且被害蕾着生节位变化小，摘蕾模拟为害与自然为害的产量结果比较近似，因此我们取表 1 中的 16 式估计产值下降数与被害蕾数关系，再根据二代棉铃虫自然种群存活率（孟文等，1981）、各龄幼虫为害蕾数以及二代卵量与为害蕾数的调查资料，估得被害蕾数 D 与二代卵量 E_2 的关系是

$$D = 1.3630E_2 \tag{2}$$

把 (2) 式代入表 1 中的 16 式，得到低肥地每亩产值下降数 Y 与二代卵量 E_2 的关系式

表 2　二代不同摘蕾数的增产数

Table 2 Increments of lint yield caused by various levels of square removal in mid-summer (1983)

肥力类型 Level of soil fertility	品种 Variety	每株摘蕾数 No. of squares removed per plant 0	4	6	8	12	16
高肥 High	衡 1	0.00	39.38	—	39.46	—	31.74
		0.00	—	—	—	34.80	—
	鲁 1 中 8 选系	0.00	—	—	40.78	—	—
		0.00	—	—	—	72.50	—
中肥 Medium	衡 1	0.00	—	—	25.80	—	—
		0.00	3.29	9.49	—	—	—
	鲁 1 中 8 选系	0.00	—	22.48	—	—	—
		0.00	—	—	30.00	—	—
低肥 Low	衡 1	0.00	4.96	—	—	—	—
	鲁 1	0.00	−3.34	—	—	—	—
	中 8 选系	0.00	1.30	—	—	—	—

表 3　不同的二代卵量造成的产量和产值损失

Table 3 Losses of lint yield and gross profit caused by various levels of egg population of the second generation (1982—1983)

二代卵量 No. of eggs of 2nd generation	147	151	205	208	259	285	344	636	1028	1836	1959
减产数 Decrement of yield	−9.60	−8.83	1.47	−8.94	1.71	−4.26	−1.85	6.19	19.57	20.87	23.43
产值下降数 Decrement of gross profit	−22.29	−19.70	−0.10	−19.22	0.41	−8.01	−4.17	25.28	53.03	70.91	94.75

$$Y = 0.2820 + 0.0328824E_2 \tag{3}$$

1982 年和 1983 年在中等偏低肥力地试验，二代卵量 53、77 及 371 粒分别造成产值下降 0.30、7.78 和 33.31 元。

由产植下降数与卵量关系，可以算出二代防治挽回的产值损失，即防治的直接收益。

2. 直接代价

估得防治二代棉铃虫每亩次工费与器械费为 0.55 元。药费与杀虫率等有关。为简化起见，以溴氰菊酯 (Decamethrin) 为例，高肥地每亩 50 公斤 10ppm 的药液可减少幼虫 73.17%，药费 0.74 元。由此得到二代一次防治的直接代价为 1.29 元。在低肥地中，二、三代防治的直接代价比高肥地约下降 30%。

3. 间接收益

二代施药，减少了二代残虫量，使三代卵量下降，有可能减少三代的防治费用和为害损失。三代卵量 E_3 与二代卵量 E_2 的关系可近似地表达为：

$$N_2 = 0.0919158E_2 \tag{4}$$

其中 N_2 为二代残虫数。

$$E_3 = 21.2916 \cdot N_2^{(1-0.425923)} \tag{5}$$

三代必要防治次数

$$K = 1 + \text{int}\left\{\lg \frac{E_{3T}}{E_3} \Big/ \lg(1 - 0.62)\right\} \tag{6}$$

其中 int{·} 为取整符号；E_{3T} 为三代卵的经济阈值，假定已知 $E_{3T} = 39.79$；0.62 为一次施药的杀虫率。如果 $K < 0$ 则不防治。

三代防治费用

$$C_3 = 2.25K \tag{7}$$

其中 2.25 为高肥地三代防治一次的费用。

三代产值损失

$$L_3 = E_3 \cdot (1 - 0.62)^K \cdot 2.25/E_{3T} \tag{8}$$

二代防治造成的三代防治费用之差和为害损失之差即为二代防治的间接收益。

4. 间接代价

根据 1980 年试验，二代每亩溴氰菊酯投药量超过 2.4 克，由于天敌大幅度下降，防治伏蚜的费用上升 1.3 元。这里不打算涉及其他的间接代价。对于上述直接代价、间接代价和间接收益的进一步描述，参见盛承发等 (1983) 的报道。

5. 经济阈值

引起产值开始下降的害虫密度为产值损失阈值（盛承发，1984 a)。在 (1) 式中，令 $Y=0$，即解得高肥地二代产值损失阈值为百株 340 粒。我们只将挽回损失看作直接收益。给定直接代价为 1.29 元，若不考虑间接收益和间接代价，那么高肥地二代经济阈值为 354 粒。收进间接收益和间接代价后，借助于一个微型计算机，即可得到高肥地二代经济阈值

$$E_{2T} = 332 \text{（粒/百株）},$$

类似地，可得低肥地二代经济阈值

$$E_{2T} = 34 \text{（粒/百株）。}$$

由模拟为害试验和中等偏低肥力地自然为害试验结果，我们初步认为，产量水平在 80—90 斤的中等偏低肥力地，其二代经济阈值为 60 粒。

这些经济阈值是用卵粒数来表示的，利用卵和各龄幼虫自然存活率资料（孟文等，1981)，可将它们转换为用幼虫头数来表示。例如 332 粒卵相当于进入三龄阶段的 60 头幼虫。

三、小结和讨论

1. 二代百株 15 粒卵或 5 头幼虫的防治指标对于高、中肥力地是不合适的。长期以来重点防治二代以保证早期棉蕾形成“伏前桃”的防治策略应当改变。在低肥地中，虽然二代经济阈值仅 34 粒，但在生产水平上，只要能改进肥水条件，便可放宽防治的要求。在高

肥地中，当二代卵量达到 300 粒时施药，使植株顶尖基本不受害，允许幼虫为害部分蕾，并辅以合理摘蕾，利用植株对于早期中等程度蕾损失的超越补偿的特性，可以显著提高经济生态学效益，这已为 1983 年的一次 60 亩面积的示范所证实(盛承发，1984 b)。

2. 土壤肥力是受害作物补偿力的物质基础，同时产量可作为肥力的一个良好指标，其理论依据是利比希 (Liebig) 定律。由于土壤中的营养元素是多种的、动态的，而且成为限制因子的元素种类是变化的，因此，如果用营养元素的含量作为肥力指标，势必带来很大的困难，生产者更难以掌握。

3. 半个多世纪以来，人们广泛采用的人工摘除棉花蕾铃模拟害虫为害的方法，仅在一定条件下才是可以接受的。弄清了模拟为害与自然为害的差异后，在允许范围内，采用模拟为害的方法，仍有方便之处。

在研究方法上，从整体观点出发，借助系统方法，提高了研究效率。应用经济生态学原则，同时提高了经济效益和生态效益。看来，在研究经济阈值时，这种做法有某种参考意义。

参 考 文 献

中国农作物病虫害编辑委员会 1979 中国农作物病虫害。农业出版社。

孟文等 1981 二、三代棉铃虫自然种群生命表与防治指标。河北农学报 **6** (2): 60—6。

盛承发 1984a 经济阈值定义的商榷。生态学杂志 1984 (3): 52—4。

盛承发 1984b 提高二代棉铃虫经济阈值辅以合理摘蕾示范成功。昆虫知识 **21** (4): 156—7。

盛承发等 1983 华北棉区药剂防治二代棉铃虫经济生态学效益分析。生态学报 **3** (1): 35—46。

Adkisson, P. L. et al. 1964a Estimates of the number of *Heliothis* larvae per acre in cotton and their relation to the fruiting cycle and yield of the host. *J. Econ. Ent.* **57**: 657—63.

Adkisson, P. L. et al. 1964b Effect of the bollworm, *Heliothis Zea*, on yield and quality of cotton. *Ibid.* **57**: 445—50.

Eaton, F. M. 1931 Early defloration as a method of increasing cotton yield and the relationship of fruitfulness to fiber and boll characters. *J. Agr. Res.* **42**(8): 447—62.

Gutierrez. A. P. et al. 1981 Estimating economic thresholds for bollworm. *Heliothis zea* Boddie, and boll weevil, *Anthonmus grandis* Boh., damage in Nicaraguan cotton, *Gossypium hirsutum* L.. *Environ. Entomol.* **10**: 872—9.

Ives, P. M. et al. 1984 Field use of SIRATAC: An Australia computer-based pest management system for cotton. *Prot. Ecol.* **6**: 1—21.

Kfir, R. et al. 1983 Further tests of threshold levels for the control of cotton bollworm (mainly *Heliothis armigera*). *J. ent. Soc. sth. Afr.* 46(1): 49—58.

Kincade R. T. et al. 1970 Effect on cotton yield of various levels of simulated *Heliothis* damage to squares and bolls. *J. Econ. Ent.* **63**: 613—5.

Morton, N. 1979 Time related factors in *Heliothis* control on cotton. *Pesticide Science* **10(3)**: 254—70.

Phillips, J. R. et al. 1980 General accomplishments towards better insect control in cotton. in C. B. Huffaker (ed.) New Technology of Pest Control. 123—153. Wiley-Interscience, New York.

Sengonca, C. 1982 The principal cotton pest and their economic thresholds in the Kilikien Plain in Southern Turkey. *Entomophaga* **27**(Special Issue): 51—6.

Simirnova, A. A. 1980 Protection of cotton in the USSR. *Outlook on Agriculture.* **10**(4): 206—7.

Tanskii, V. I. et al. 1975 Injuriousness and economic threshold of number of the bollworm. *Zashchita Rastenii* **10**: 16—7.

Wilson, A. G. L. 1981 *Heliothis* damage to cotton and concomitant action levels in the Namoi Valley, New South Wales. *Prot. Ecol.* **3**: 311—25.

Wilson, L. T. et al. 1982 Responses of Deltapine 16 cotton *Gossypium hirsutum* L. to simulated attacks by known population of Heliothis larvae (Lepidoptera: Noctuidae) in a field experiment in Queenland. Australia. *Prot. Ecol.* **4**: 371—80.

USDA ARS 1983 Annual Conference Report on Cotton-Insect Research and Control (36th). January 3—4, 1983. San Antonio, Texas, (U. S.) Agriculture Research Service, Washington, DC.

ECONOMIC THRESHOLDS OF THE SECOND GENERATION OF COTTON BOLLWORM IN NORTH CHINA

SHENG CHENG-FA
(Institute of Zoology, Academia Sinica)

Field experiments were conducted at two localities in North China during four growing seasons (1980—1983) to determine the relationships between the population density of the second generation cotton bollworm, *Heliothis armigera* (Hübner), and cotton yield. The experiments comprised the simulated and real damage and took account on the effects of compensation at various levels of soil fertility, cotton varieties, and various cultural methods. The results show that cotton's ability to compensate for damage during early season (late June to early July) increased with soil fertility. The differences in the results between cotton varieties and between years as well as between cultural methods were less important. Consquently, the economic threshold is largely affected by soil fertility. Expressions of economic loss and number of eggs for various levels of fertility were given.

A static economic threshold model was developed incorporating direct benefit and cost as well as indirect benefit and cost. And the economic thresholds were calculated to be 332 eggs per 100 plants for the rich soil, 34 eggs for the poor soil, and 60 eggs for the medium soil.

Key words *Heliothis armigera—Gossypium hirsutum*—Yield loss—Economic threshold